



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena - EEL

MATHEUS PEREIRA IZIDRO

**COMPARAÇÃO ENTRE A DECAPAGEM QUÍMICA E DECAPAGEM
MECÂNICA EM TESTES DE SALT SPRAY**

Lorena - SP
2014



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

MATHEUS PEREIRA IZIDRO

**COMPARAÇÃO ENTRE A DECAPAGEM QUÍMICA E DECAPAGEM
MECÂNICA EM TESTES DE SALT SPRAY**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo como requisito parcial para conclusão da Graduação do curso de Engenharia Industrial Química.

Prof. Orientador: Dr. Lucrécio Fábio dos Santos

Lorena - SP
2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
Chefia Técnica – Serviço de Biblioteca
Escola de Engenharia de Lorena

Izidro, Matheus Pereira

Comparação entre a decapagem química e decapagem mecânica em testes de salt spray/ Matheus Pereira Izidro.. - Lorena, 2014.

67f.

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão do Curso de Graduação de Engenharia Industrial Química - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.

Orientador: Lucrécio Fábio dos Santos

1. Tratamento de superfície 2. Corrosão 3. Aço (Tratamento) I. Santos, Lucrécio Fábio dos, Orient.

Dedico este trabalho

*Aos meus pais, familiares e amigos que sempre acreditaram
e me apoiaram nessa etapa muito importante da minha
vida, e claro aos professores que tive a honra de usufruir
de seus conhecimentos.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares e amigos, que me apoiaram durante todo o desenvolvimento do curso de Engenharia.

Aos colegas de trabalho, que me transmitiram conhecimento e disponibilizaram a estrutura para desenvolver o projeto de monografia.

Aos educadores, pelos ensinamentos compartilhados conosco que ajudam a construir as bases teóricas de nossa formação acadêmica.

Ao orientador professor Lucrécio Fábio dos Santos, pela compreensão e contribuição na realização deste trabalho de conclusão de curso.

EPÍGRAFE

"Todo mundo quer o fruto do crescimento, mas não se dispõe ao desconforto do plantio."

Flávio Augusto

RESUMO

IZIDRO, Matheus Pereira. **Comparação entre a decapagem química e decapagem mecânica em testes de *salt spray***. Lorena 2014. 43 f. TCC 2. (Engenharia Industrial Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Lorena. 2014.

Este projeto de trabalho de conclusão de curso foi realizado em uma empresa metal mecânica, denominada de empresa B, e teve como premissa avaliar o comportamento de peças de aço carbono através de ensaios de corrosão em câmara de *Salt spray*, cujas peças possuem diferentes rugosidades devido aos tratamentos de decapagem química e mecânica, utilizados em seu processamento. Para tanto, foram preparados corpos de provas, os quais foram submetidos a ensaios destrutivos, sendo as amostras submetidas à câmara de *Salt spray* e posteriormente realizados testes de corrosão superficial, aderência da pintura e migração de corrosão. As peças decapadas na empresa B, por via química e mecânica para aplicação de camada baixa de tinta, foram analisadas e concluiu-se que a via mecânica não apresentou resultados satisfatórios, devido à reprovação nos testes de corrosão superficial e aderência de tinta. O método de decapagem química foi aprovado em todos os ensaios a que foi submetido, tornando viável sua utilização para tal finalidade.

Palavras-chave: Carepa. Decapagem. *Salt spray*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1	–	Formação da carepa	16
Figura 4.2	–	Desagregação da carepa de laminação e da pintura	16
Figura 4.3	–	Perfil obtido com cada formato de granalha	18
Figura 4.4	–	Equipamento completo de jateamento abrasivo por ar comprimido	19
Figura 4.5	–	Turbina centrífuga	19
Figura 4.6	–	Equipamento de jateamento por turbinas centrífugas	20
Figura 4.7	–	Ação da camada de fosfato	21
Figura 4.8	–	Processo de fostatização e passivação	22
Figura 4.9	–	Sistema de pintura por eletroforese anódica (Anaforese)	24
Figura 4.10	–	Sistema de pintura por eletroforese catódica (Cataforese)	24
Figura 5.1	–	Comparação entre perfil de rugosidade	26
Figura 5.2	–	Rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-210	27
Figura 5.3	–	Pontos de medição do perfil de rugosidade	27
Figura 5.4	–	Aparelho eletrônico para medidas de espessura seca de tinta aplicada sobre aço	29
Figura 5.5	–	Pontos de medição da camada de tinta	30
Figura 5.6	–	Amostras decapadas quimicamente	30
Figura 5.7	–	Amostras decapadas mecanicamente	31
Figura 5.8	–	Camêra <i>Salt Spray</i>	32
Figura 5.9	–	Cortes em grade para teste de aderência	33
Figura 6.1	–	Teste de corrosão superficial amostra decapada quimicamente	36
Figura 6.2	–	Teste de corrosão superficial amostra decapada mecanicamente	37
Figura 6.3	–	Teste de aderência de tinta amostra decapada quimicamente	37
Figura 6.4	–	Teste de aderência de tinta amostra decapada mecanicamente	38
Figura 6.5	–	Teste de migração de corrosão da amostra decapada quimicamente	39

Figura 6.6 – Teste de migração de corrosão da amostra decapada mecanicamente

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 –	Perfil de rugosidade	35
Tabela 6.2 –	Camada de tinta	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Etapas de lavagem e respectivos objetivos	22
Quadro 5.1 – Classificação do grau de aderência conforme NBR 11003	34

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
3. JUSTIFICATIVA	15
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4.1. FORMAÇÃO DE CAREPA	16
4.2. DECAPAGEM QUÍMICA ÁCIDA	17
4.3 DECAPAGEM MECÂNICA	18
4.3.1. Jateamento abrasivo por ar comprimido	18
4.3.2. Jateamento abrasivo com máquinas com turbinas centrifugas	19
4.4. TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE	20
4.5. FOSFATIZAÇÃO	21
4.6. PASSIVAÇÃO	21
4.7. BANHOS INTERMEDIÁRIOS	22
4.8. SECAGEM	23
4.9. PINTURA POR ELETRODEPOSIÇÃO	23
4.9.1. Eletroforese anódica ou anafórica	23
4.9.2. Eletroforese catódica ou cataforética	24
4.10. CORROSÃO	25
5. MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1. PERFIL DE RUGOSIDADE	26
5.1.1. Medidor de rugosidade	26
5.2. MEDIDA DE ESPESSURA SECA DA TINTA	28
5.2.1 Aparelho eletrônico	29
5.3. TESTES	31
5.3.1. Salt spray	31
5.3.2. Corrosão superficial	32
5.3.3. Aderência	33
5.3.4. Migração de corrosão	34
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
7. CONCLUSÃO	41
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

Segundo levantamento do Instituto Aço Brasil - IABr (2009), a indústria siderúrgica brasileira se destaca mundialmente na produção de aço, sendo o maior produtor da América Latina, quinta colocação como exportador líquido de aço e a nona como produtor. Desta produção destina-se 26,7% ao setor automobilístico, totalizando 4958 milhões de toneladas.

Na indústria siderúrgica, o aço é aquecido para passar pelo processo de conformação (laminação). A superfície que entra em contato com a atmosfera sofre oxidação, formando óxidos de ferro, denominada carepa (GINZBURG, 1989). Esta deve ser removida antes de a peça ser submetida a qualquer outro tipo de processo, principalmente se for utilizada na fabricação de peças para a indústria automobilística.

A remoção de carepa pode ser realizada por diferentes métodos, dentre eles a decapagem química e decapagem mecânica. Cada método utilizado gera uma rugosidade diferente na superfície do material, rugosidade essa que interfere na pintura de acordo de sua amplitude. Para proteção das peças, normalmente são usados processos de pintura por eletrodeposição.

A competitividade do mercado automobilístico faz com que se busque sempre a redução de custo de operação. No processo de pintura a redução de custo pode ser obtida com a redução de consumo de tinta. Essa redução se consegue através da diminuição da espessura de tinta aplicada à peça. Assim, obtém-se o que se denomina camada baixa de tinta, que pode ser aplicada desde que atenda a normas de corrosão.

Nesse sentido, este trabalho consiste em avaliar peças pintadas com baixa camada de tinta, as quais passarão por diferentes métodos de decapagem. As peças foram submetidas a testes de corrosão e comparadas com normas técnicas para verificar a validade dos ensaios. Os ensaios serão realizados em câmara de *Salt spray*, que simula um processo de corrosão acelerado nas peças.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho dos processos de pré-tratamento por decapagem química e mecânica de uma empresa metal-mecânica “B”, localizada na cidade de Cruzeiro – SP.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Preparar corpos de prova para pintura por eletrodeposição;
- ✓ Comparar a eficiência dos processos de decapagem química e mecânica, através de ensaios destrutivos;
- ✓ Realizar ensaios em câmara de *Salt spray* para promover aceleração no processo de corrosão.
- ✓ Avaliar peças pintadas com baixa camada de tinta, através de ensaios de corrosão superficial, aderência da pintura e migração de corrosão;

3. JUSTIFICATIVA

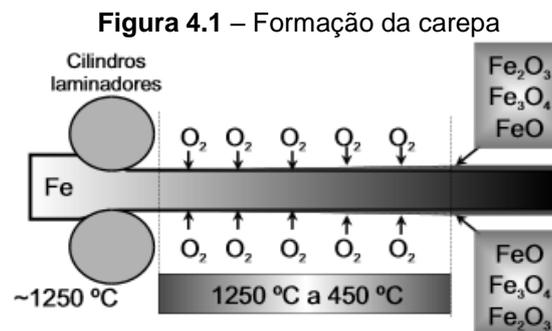
A alta competitividade do mercado automobilístico submete as empresas à busca incessante de redução de custo no processamento. Na fabricação de peças, a etapa de pintura é de vital importância em relação à proteção anticorrosiva, mas ao mesmo tempo trás um custo de operação adicional. O menor consumo de tinta resulta na redução do custo total do processo. A redução no consumo do material protetor se dá através da diminuição da camada de tinta aplicada à peça, obtendo a menor camada possível desde que continue eficaz na proteção anticorrosiva. A eficácia é determinada através de ensaios em que as peças são submetidas e devem atender normas estipuladas pelo cliente, que se baseiam nas normas da ASTM. Deste modo este trabalho visou constatar qual tipo de decapagem trará maior redução de custo para a empresa B, tornando-a mais competitiva no mercado globalizado.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. FORMAÇÃO DE CAREPA

No processo de fabricação do aço, ao ser aquecido, sem uma atmosfera inerte ocorre a oxidação da superfície formando óxidos de ferro, denominados carepa. O processo de oxidação consiste na difusão do oxigênio para o interior do metal, onde o oxigênio reage com o ferro e forma óxidos de ferro (TELLES, 1976).

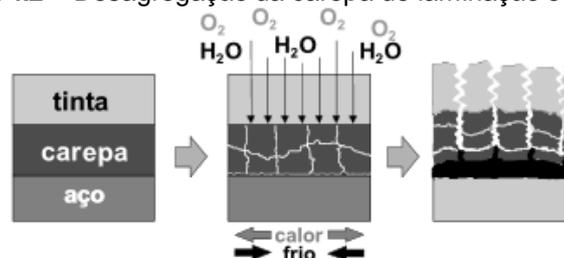
A formação da carepa pode ser observada no esquema proposto por Araujo (2003), conforme mostra a Figura 4.1.



Fonte: ARAUJO, 2003

A carepa formada deve ser retirada para que o material possa ser pintado, pois caso isso não ocorra, a diferença de temperatura relatada ao longo do dia pode causar dilatação na tinta e na carepa, que por sua vez possuem coeficientes de dilatação diferentes, fazendo a carepa trincar a tinta, conforme esquema apresentado na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Desagregação da carepa de laminação e da pintura



Fonte: ARAUJO, 2003

Além de evitar a descamação por consequência da carepa, a superfície deve ser tratada para melhorar a rugosidade com o intuito de proporcionar melhor adesão da tinta posteriormente aplicada.

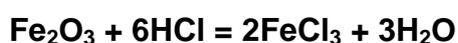
A remoção da carepa pode ser realizada por diferentes métodos, dentre eles a decapagem química e a mecânica. Segundo Soares (2006), o termo decapagem significa “retirar a capa”.

4.2. DECAPAGEM QUÍMICA ÁCIDA

No processo de decapagem química ácida, normalmente são utilizados os ácidos clorídrico, sulfúrico ou fosfórico. Essa retirada da capa de óxidos de ferro da superfície ocorre devido à reação do ácido com os óxidos, obtendo-se sais solúveis. O ataque ácido, além de remover os óxidos proporciona uma certa rugosidade à superfície.

Os banhos de ácidos são aditivados com tensoativos e inibidores de corrosão, o primeiro tem a finalidade de melhorar a penetração do ácido nas peças e melhorar o desempenho na lavagem, o segundo inibi o ataque para que retire somente a carepa e não o metal, e também forma uma camada na superfície do banho para amenisar a volatilização do ácido (GNECCO, 2003).

Como exemplo, mostra-se abaixo como ocorrem as reações do ácido clorídrico com o aço para retirada da carepa:



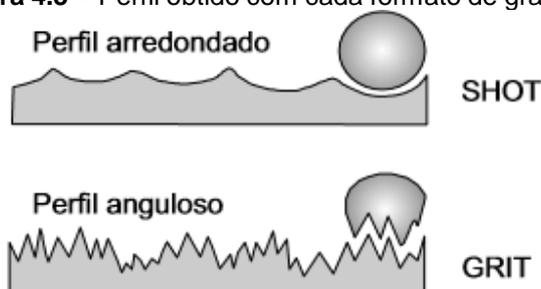
Após a etapa de ataque ácido, as peças devem ser lavadas para retirar o ácido residual da superfície, pois caso esse permaneça, torna o ambiente mais propício à oxidação. Para maior proteção se aplica óleo protetivo, normalmente a quente para que evapore o excesso de água na superfície da chapa.

4.3 DECAPAGEM MECÂNICA

Consiste na retirada da carepa através do jateamento de abrasivos. Podem ser realizadas com ar comprimido ou por turbina centrífuga. Os abrasivos a serem utilizados podem ser areia, granalhas de aço e óxido de alumínio.

A decapagem mecânica é utilizada para remoção de carepa utiliza-se granalha de aço. As granalhas são feitas com um tipo especial de aço, de alta dureza e em diferentes formatos, podendo ser esféricas (*shot*) e angulares (*grit*), conforme a Figura 4.3.

Figura 4.3 – Perfil obtido com cada formato de granalha

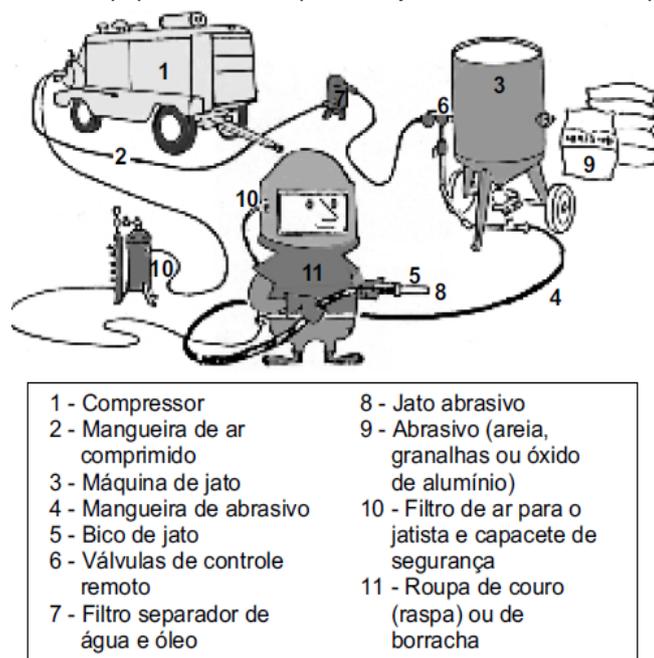


Fonte: ARAUJO, 2003

4.3.1. Jateamento abrasivo por ar comprimido

O abrasivo é impulsionado por meio de ar comprimido é controlado manualmente pelo operador, equipado com os EPI's necessários e com pressão em torno de 7 kg/cm². O esquema de um processo de jateamento é mostrado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Equipamento completo de jateamento abrasivo por ar comprimido

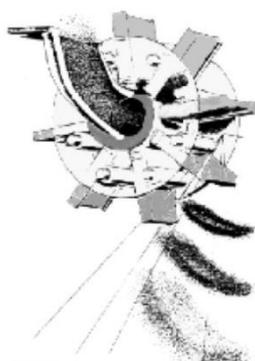


Fonte: Clemco Industries

4.3.2. Jateamento abrasivo com máquinas com turbinas centrífugas

O abrasivo é arremessado em alta velocidade contra a peça pelas turbinas que se trata de um rotor centrífugo, conforme mostra a Figura 4.5. As turbinas normalmente são construídas em aço fundido de alta liga de cromo, com grande resistência à abrasão.

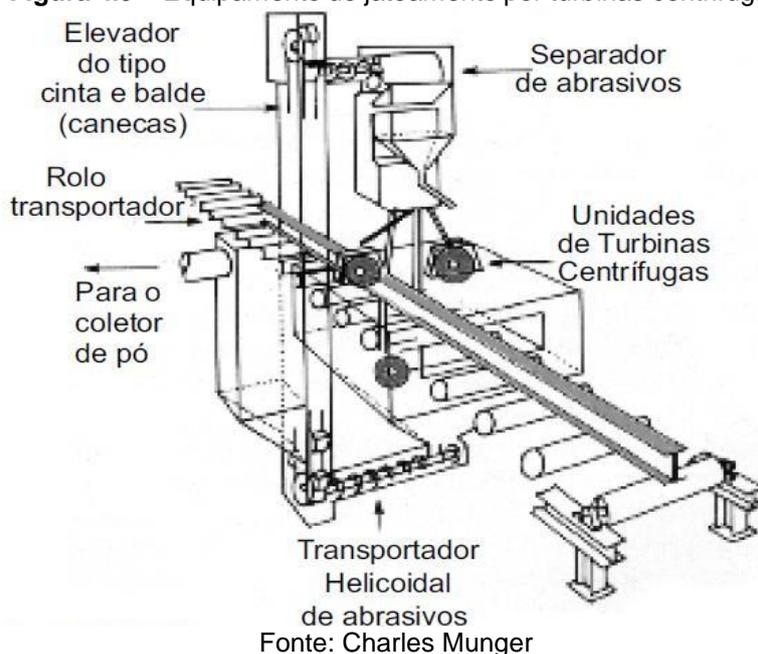
Figura 4.5 – Turbina centrífuga



Fonte: Charles Munger

O abrasivo automaticamente é recolhido no fundo da câmara, separado dos resíduos e retorna para as turbinas, tornando assim um processo econômico, conforme mostra a Figura 4.6. As turbinas possuem válvulas que regulam a quantidade de abrasivo a ser lançado.

Figura 4.6 – Equipamento de jateamento por turbinas centrífugas



4.4. TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE

Antes da aplicação da pintura, as peças devem passar por tratamentos superficiais que tendem a melhorar a rugosidade e auxiliar na proteção anticorrosiva.

A preparação tem o princípio de obter a limpeza e rugosidade adequada para cada tipo de aplicação que passará a aço. A qualidade da pintura aplicada está diretamente relacionada com o tratamento que a superfície que recebeu antes de ser aplicada tinta.

As tintas aderem ao aço por ligações físicas, químicas e mecânicas, sendo as duas primeiras interações entre os grupos presentes nas resinas e no metal, já a mecânica se associa as duas e necessita de uma rugosidade superficial correta (ASTM, 1999).

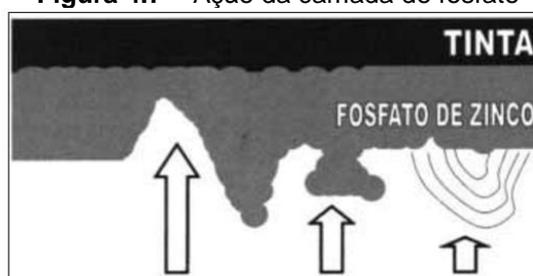
Para uma adequação no perfil de rugosidade do material e auxiliar na proteção, é realizado um processo de tratamento superficial, aplicando à peça uma camada de fosfato (fosfatização).

4.5. FOSFATIZAÇÃO

Além de melhorar a aderência da tinta devido à modificação do perfil de rugosidade, o fosfato protege a superfície metálica contra a corrosão. O fosfato sozinho não tem grande eficácia anticorrosiva, mas quando associado a um tratamento posterior como a pintura, aumenta a proteção anticorrosiva (MONTEMEZZO, 2003).

O aumento da aderência se dá pelo fato da afinidade química entre camadas fosfato/metal e fosfato/tinta serem maiores que a metal/tinta (ROY; 1993, DEBNATH; 1993).

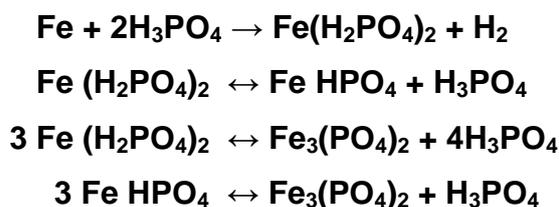
Figura 4.7 – Ação da camada de fosfato



Fonte: REIS, 2005

A fosfatização converte a superfície metálica do aço carbono em não metálica, através do depósito de cristais pequenos e insolúveis sobre a superfície, tornando o material mais resistente à corrosão (GNECCO, 2003).

Durante a fosfatização ocorre as seguintes reações:

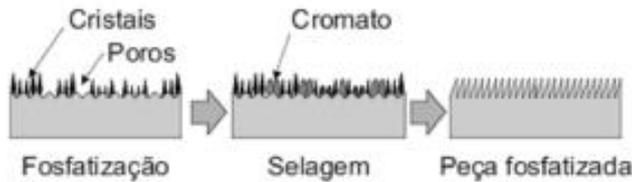


4.6. PASSIVAÇÃO

Segundo Gnecco (2003), a passivação tem por finalidade selar os poros deixados pela camada de fosfato. Trata-se de uma etapa posterior à fosfatização que tem por finalidade selar os poros deixados na camada de fosfato (Figura 4.8).

As soluções apassivantes, constituídas por ácido crômico ou ácido crômico/fosfórico, geralmente a 60 °C, completam as falhas na camada de fosfato, melhorando a proteção anticorrosiva.

Figura 4.8 – Processo de fostatização e passivação



Fonte: GNECCO, 2003

Esta etapa final de passivação também é chamada de “selagem com cromo”.

4.7. BANHOS INTERMEDIÁRIOS

Os banhos intermediários são realizados após cada etapa do tratamento, cujos objetivos são resumidos no Quadro 4.1.

Quadro 4.1. Etapas de lavagem e respectivos objetivos

Etapas de lavagem	Objetivo:
Após a decapagem ácida	remover os resíduos de sais formados e o excesso de decapante que prejudicariam o refinador. Se os ácidos não forem completamente removidos, os cristais nucleados podem ficar grandes, o que é inconveniente.
Após a fostatização	remover os resíduos e os excessos de fosfatos e cromatos que prejudicariam a aderência e o comportamento da pintura
Após a passivação	a lavagem deve ser com água deionizada para eliminar completamente os sais solúveis.

4.8. SECAGEM

A secagem das peças após o processo de passivação é realizada passando por fornos ou sopro de ar quente, com temperatura entre 100°C e 150°C, para remover toda a umidade da superfície que pode formar bolhas que prejudicam a pintura.

Após o pré-tratamento, a pintura será aplicada por imersão com corrente elétrica, onde os parâmetros são ajustados visando obter baixa camada de tinta.

4.9. PINTURA POR ELETRODEPOSIÇÃO

O processo de pintura por eletrodeposição trata-se de um processo de imersão com corrente elétrica, onde também é conhecido como eletroforese, e pode ser anódica ou catódica. O conceito eletroforese é a aplicação da tinta (solução coloidal) a partir de sua migração para a peça devido à diferença de potencial entre o tanque de tinta e a peça. Essa diferença de potencial ocorre devido à diferença de polarização a que foi induzida a tinta e a peça, criando assim um campo elétrico.

A peça ou a tinta pode receber uma carga positiva ou negativa, sendo sempre uma oposta a outra, diferenciando o processo em anódico e catódico. A tinta aplicada vai, continuamente, cobrindo toda a peça com base na adsorção das cargas positivas neutralizadas pelas cargas negativas (BRETT; BRETT, 1996).

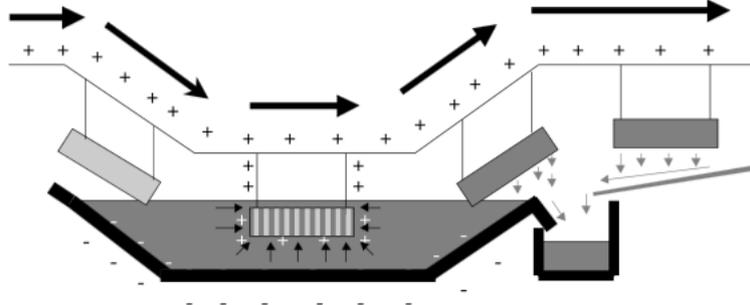
Após receber a tinta, as peças saem do tanque e vão para uma estufa para sofrerem o processo cura.

4.9.1. Eletroforese anódica ou anafóretica

Segundo Brett e Brett (1996), no processo de eletroforese anódica a tinta e o tanque são carregados negativamente e as peças a serem pintadas são carregadas positivamente, conforme ilustra a Figura 4.9. As peças recebem a

carga positiva através das gancheiras onde são penduradas. Através do campo elétrico, a tinta é atraída e depositada sobre a peça.

Figura 4.9 – Sistema de pintura por eletroforese anódica (Anaforese)

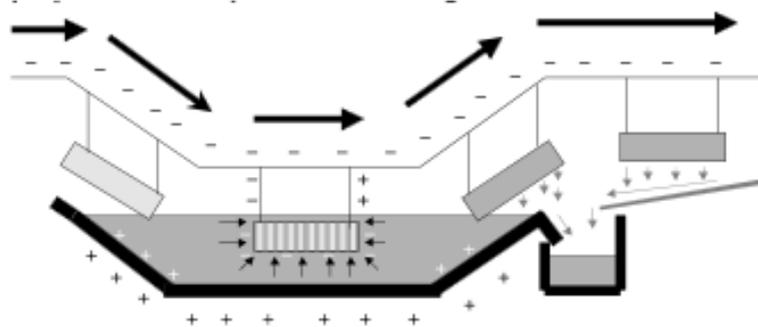


Fonte: ARAUJO, 2003

4.9.2. Eletroforese catódica ou cataforética

No processo de eletroforese catódica, a tinta e o tanque são carregadas positivamente enquanto as peças são carregadas negativamente, conforme ilustra a Figura 4.10. Através do campo elétrico, a tinta é atraída e depositada sobre a peça.

Figura 4.10 – Sistema de pintura por eletroforese catódica (Cataforese)



Fonte: ARAUJO, 2003

Este processo é o mais utilizado hoje em dia por que tem maior penetração nas frestas e dentro dos tubos e utiliza tintas epoxídicas mais modernas e com maior desempenho do que as da anaforese.

4.10. CORROSÃO

Corrosão pode ser definida como sendo a deterioração que ocorre quando um material (normalmente um metal) reage com seu ambiente, levando à perda de suas propriedades, as quais podem ser físicas e/ou químicas, alterando sua estrutura, durabilidade e desempenho. A corrosão é o processo inverso ao da siderurgia, ou seja, o ferro retorna de forma espontânea aos óxidos que lhe deram origem. No processo siderúrgico, muita energia é gasta para transformar óxido de ferro em um produto final. A corrosão é o processo inverso ao da siderurgia, ou seja, o ferro retorna de forma espontânea aos óxidos que lhe deram origem (GENTIL, 2007).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos testes de foram preparadas amostras apartir das bobinas de aço carbono que são provenientes de uma empresa siderúrgica X. As amostras contendo carepa passaram por diferentes métodos de decapagem, sendo eles químico e mecânico.

Alguns parâmetros do processo não tiveram referências quantificadas devido ao sigilo industrial imposto pela empresa onde o trabalho foi realizado.

Amostras foram processadas na decapagem química onde a carepa foi removida no banho de ácido clorídrico (18% em peso), por um tempo determinado por procedimentos internos. Em seguida, as peças foram enxaguadas com água, com a finalidade de neutralizá-las para retirada de todo o ácido da superfície da peça.

A remoção de carepa das amostras, via decapagem mecânica, foi realizada através de jateamento por turbinas centrifugas, que seguem procedimentos de controle, entre eles: dimensão das granalhas, pressão das turbinas, tipo de granalhas, tempo de exposição, os quais, por questões de sigilo, não puderam ser demonstrados no trabalho.

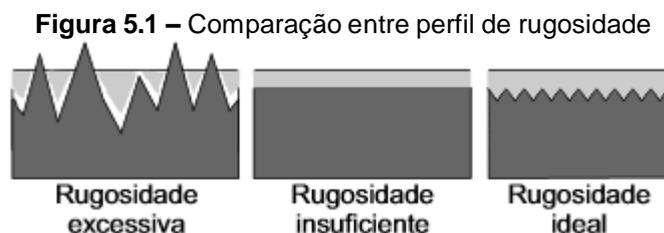
Na empresa B, é utilizado o sistema de pintura por eletroforese catódica, que seguem procedimentos de controle, entre eles a quantidade de turbinas, pressão, tipo de granalhas, tempo de exposição, que não puderam ser demonstrados no trabalho por questões de sigilo da empresa.

Com o propósito de comparação de métodos de processamento, foram medidas a rugosidade da superfície, também denominado como perfil de rugosidade, das amostras que passaram pelas diferentes decapagens. A medição foi realizada utilizando um rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-210.

5.1. PERFIL DE RUGOSIDADE

Na remoção da carepa de laminação é arrancada parte do metal também. Este impacto provoca uma aspereza na superfície denominada rugosidade. A rugosidade do material é de vital importância para a qualidade da peça no que diz respeito à aplicabilidade da tinta.

A rugosidade deve ser controlada porque se for muito alta podem ficar picos fora da camada de tinta e, por este motivo, a corrosão se iniciará a partir destas áreas, e por outro lado se for muito baixa a tinta pode não aderir satisfatoriamente, cujo esquema é mostrado na Figura 5.1.



5.1.1. Medidor de rugosidade

O rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-210 foi aferido em uma superfície totalmente polida, padronizando como sendo uma rugosidade nula. O aparelho

então foi colocado sobre a amostra a ser analisada, e por leitura direta determina-se a rugosidade da superfície do material a ser analisado. O Aparelho que foi utilizado é mostrado na Figura 5.2.

Figura 5.2 - Rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-210



As peças foram submetidas a diferentes rotas de decapagem, sendo elas química e mecânica. Cada rota gerou um perfil de rugosidade diferente. Foram medidas os perfis de rugosidade dos corpos de prova nos pontos indicados na Figura 5.3.

Figura 5.3 – Pontos de medição do perfil de rugosidade



As peças foram submetidas ao processo de pré-tratamento de pintura, sendo estas submetidas aos processos de fosfatização, passivação e no intermédios dos processos enxágués.

A fosfatização foi realizada por imersão, atendendo o tempo determinado, conforme procedimento interno da empresa B, para que ocorra a reação do fosfato a ser depositado na superfície do material, controlando principalmente concentração e temperatura do banho. Posteriormente passaram pela etapa de lavagem para a remoção do excesso de fosfato e encaminhadas para a etapa de passivação, que tem o intuito de selar os poros deixados pela camada de fosfato. As peças foram novamente lavadas com água deionizada para a total remoção de sais residuais. As peças passaram por sopradores de ar quente entre 100°C e 150°C para a remoção da água da superfície, para não causar bolhas na etapa posterior, que é a pintura.

A pintura foi aplicada por eletrodeposição catódica, onde a tinta e o tanque são carregadas positivamente enquanto as peças negativamente. Através do campo elétrico, a tinta é atraída e depositada sobre a peça. Com o intuito de aplicar uma camada baixa de tinta, a voltagem do sistema é diminuída para que consiga a camada desejada. As peças foram curadas durante 10 min, em uma temperatura em torno de 200°C. A camada de tinta depositada na superfície, após a cura, foi medida utilizando um aparelho eletrônico de medição de camada, o qual será descrito a seguir.

5.2. MEDIDA DE ESPESSURA SECA DA TINTA

Após a evaporação dos solventes e da cura da tinta, a película seca, já endurecida, pode ser medida através de medidor de camada eletrônico, o qual é descrito abaixo.

Para a medição da espessura de tinta das amostras foi utilizado o aparelho da marca Fischer modelo Dualscope MP40E-S.

5.2.1 Aparelho eletrônico

Coloca-se o apalpador sobre uma placa de aço polida e calibra-se o zero. Em seguida coloca-se uma lâmina aferida e sobre ela o apalpador, ajustando-se o valor da lâmina. Confere-se o zero novamente e o aparelho estará pronto para as medições.

O aparelho eletrônico utilizado para medidas de espessura da camada de tinta sobre metais, demostados na Figura 5.4. sendo utilizado em laboratórios.

Figura 5.4 – Aparelho eletrônico para medidas de espessura seca de tinta aplicada sobre aço



A camada de tinta foi medida em triplicata, onde as amostras encontravam-se secas e isentas de qualquer sujeira que pudesse interferir na medição. Os pontos em que foram analisados estão indicados na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Pontos de medição da camada de tinta



As amostras foram identificadas, conforme Figuras 5.6 e 5.7. A análise foi realizada em triplicata.

Figura 5.6 – Amostras decapadas quimicamente



Figura 5.7 – Amostras decapadas mecanicamente



.Após a determinação da camada de tinta, as amostras foram submetidas a testes, com parâmetros definidos pela norma ASTM B117, visando atender os requisitos da norma do cliente A.

5.3. TESTES

As amostras foram submetidas a ensaios destrutivos, sendo eles testes de corrosão em câmaras de *Salt spray* que realizam testes acelerados via nevoa salina e umidades controladas. Após submetida à câmara de *Salt spray* foram realizados testes de corrosão superficial, aderência da pintura e migração de corrosão. Os testes são realizados e comparados a normas que definem parâmetros ao qual devem ser obedecidos para que as peças sejam aprovadas.

5.3.1. Salt spray

Este ensaio segue a norma ASTM B117-2003 e procura simular as condições encontradas em ambiente marítimo, através da nebulização de uma solução aquosa de cloreto de sódio (5% em peso) e parâmetros definidos e

minuciosamente controlados, em temperatura de 35 ± 2 °C, com pH as solução entre 6,5 e 7,2, e umidade relativa do ar de aproximadamente 97%. O tempo de exposição das peças foi de 540 horas, posicionadas na câmara com ângulo de 30°. O equipamento utilizado foi da marca Equilam modelo SS3000, conforme Figura 5.8.

Figura 5.8 – Câmara de *Salt spray*



As amostras foram mantidas durante 540 horas na câmara de *Salt spray*, tempo normalmente imposto pelas normas das principais montadoras automobilísticas. No ensaio de corrosão superficial as peças foram analisadas visualmente no estado em que foram retiradas da câmara, já para os ensaios de aderência da pintura e de migração de corrosão as amostras foram lavadas com água a um fluxo moderado, com temperatura máxima de 40 °C, a superfície do corpo de prova foi raspada cuidadosamente com uma espátula em movimentos perpendiculares a amostra.

5.3.2. Corrosão superficial

O teste de corrosão superficial trata-se da análise visual da superfície da amostra com o intuito de encontrar algum ponto de oxidação, o qual se

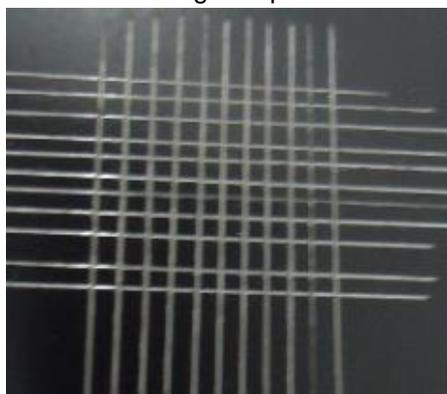
encontrado reprovando a amostra. Este teste é realizado através de uma simples análise visual.

A norma do cliente A exige que as peças estejam isentas de oxidação superficial.

5.3.3. Aderência

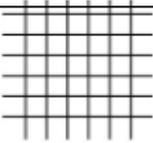
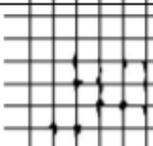
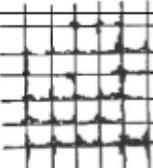
O teste de aderência foi utilizado para determinar o grau de adesão da pintura sobre as amostras diferenciando o pré-tratamento. O ensaio utilizado foi o de aderência corte em grade. Corta-se as amostras após retiradas da câmara de *Salt spray* e limpa, com o auxílio de um estilete, com pressão suficiente para que o corte atinja o substrato. A quantidade de cortes e a distância entre eles difere de uma norma para outra. A norma da cliente A exige que se realize 11 cortes paralelos com distância entre eles definidas, outros 11 perpendiculares aos primeiros, sendo assim obtém-se uma grade com 100 quadrados, conforme Figura 5.9.

Figura 5.9 – Cortes em grade para teste de aderência



Em seguida, uma fita adesiva filamentosa é colocada e bem fixada sobre a área quadriculada. Após 90 segundos uma das extremidades da fita é puxada com um golpe rápido. A área ensaiada será analisada conforme NBR 11003 (ABNT, 2009). O Quadro 5.1 mostra a classificação do grau de aderência do sistema de pintura no substrato, de acordo com a Norma citada.

Quadro 5.1 – Classificação do grau de aderência conforme NBR 11003

<p>GR 0 As bordas dos cortes permanecem. Completamente íntegras, nenhum dos quadrinhos foi destacado.</p>	
<p>GR 1 Pequenos fragmentos da película foram destacados ao longo das interseções. A área afetada é menor que 5%.</p>	
<p>GR 2 Pequenos fragmentos da película foram destacados nas interseções dos cortes. A área afetada é de 5 a 15% do quadriculado.</p>	
<p>GR 3 A película se destaca ao longo das bordas e em parte do quadriculado. A área afetada é de 15 a 35% do quadriculado.</p>	
<p>GR 4 A película se destaca das bordas dos cortes em grandes tiras e quadrinhos inteiros se destacam. A área afetada é de 65% ou mais do quadriculado.</p>	

O teste de aderência de tinta consiste na aplicação da fita e posteriormente a comparação para a definição de diferentes graus de aprovação conforme a Quadro 5.1. A especificação da norma do cliente A exige que o grau seja menor que GR 1.

5.3.4. Migração de corrosão

O teste migração de corrosão consiste em quantificar o aumento da largura do risco dado a peça, a qual, em seguida é levada para a câmara de salt spray. A largura inicial do risco deve ser em torno de 0,5 mm. Após o ensaio em câmara de *Salt spray*, esse risco, segundo a norma da cliente A, não dever ser maior que 1mm de largura.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme citado em 5.1.1, foram analisados o perfil de rugosidade seguindo os pontos mostrados na Figura 5.3 (página 27), e obteve-se os resultados listados na Tabela 6.1, abaixo:

Tabela 6.1: Perfil de rugosidade

PERFIL DE RUGOSIDADE				
Método de Decapagem	Ponto	Amostra 1 (μm)	Amostra 2 (μm)	Amostra 3 (μm)
Química	Média	0,73	0,97	0,77
	Dp	0,13	0,09	0,04
Mecânica	Média	10,49	9,95	9,21
	Dp	0,71	1,25	0,43

Para a decapagem química, das três amostras avaliadas, obteve-se um perfil de rugosidade com média de $0,82 \mu\text{m}$ e com desvio padrão médio $0,08$, enquanto as três amostras submetidas à decapagem mecânica obteve-se um perfil de rugosidade com média de $9,89 \mu\text{m}$ e com desvio padrão médio $0,80$. Observa-se uma rugosidade consideravelmente maior das amostras submetidas a decapagem mecânica. Esse resultado revela que a decapagem química apresenta resultados bem melhores do que a decapagem mecânica.

Conforme citado em 5.2.1., foram analisadas a espessura da camada de tinta, seguindo os pontos mostrados na Figura 5.5 (página 30), e obteve-se os resultados listados na Tabela 6.2, abaixo:

Tabela 6.2: Camada de tinta

CAMADA DE TINTA				
Método de Decapagem	Ponto	Amostra 1 (μm)	Amostra 2 (μm)	Amostra 3 (μm)
Química	Média	20,50	21,43	21,63
	Dp	0,44	0,32	0,47
Mecânica	Média	21,67	22,07	21,37
	Dp	0,45	0,25	0,21

Para a decapagem química, das três amostras avaliadas, obteve-se um camada de tinta com média de 21,19 μm e com desvio padrão médio 0,41, enquanto as três amostras submetidas à decapagem mecânica obteve-se um camada de tinta com média de 21,70 μm e com desvio padrão médio 0,30. Conforme desejado, obteve-se camadas baixa de tinta com valores próximos para ambas as rotas de decapagem.

No teste de corrosão superficial as amostras foram analisadas visualmente. Na pintura aplicada sobre a superfície decapada quimicamente não se observou nenhum ponto de oxidação, conforme mostra a Figura 6.1.

Figura 6.1 – Teste de corrosão superficial amostra decapada quimicamente



Já na superfície pintada sobre a peça submetida à decapagem mecânica observou-se ponto de oxidação, fato que reprova a peça pela, segundo a norma do cliente A. A Figura 6.2 mostra o aspecto da peça após a realização do ensaio.

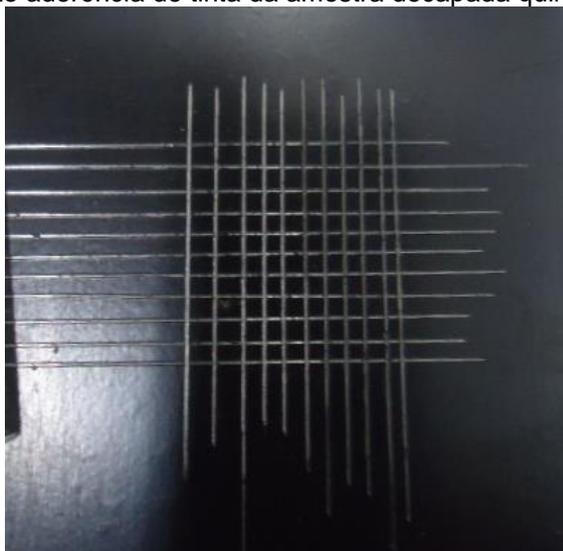
Figura 6.2 – Teste de corrosão superficial amostra decapada mecanicamente



No teste de aderência de tinta foram realizados os cortes conforme demonstrado em 5.3.3, e posterior realizada uma análise visual dos corpos de prova comparando com o Quadro 5.1 (página 34).

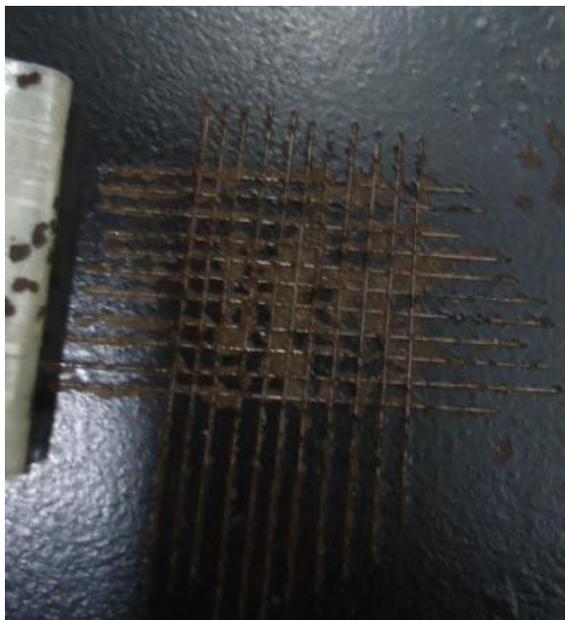
Comparando as peças decapadas quimicamente mostrada na Figura 6.3, conclui que o grau de aderência é o GR O.

Figura 6.3 – Teste aderência de tinta da amostra decapada quimicamente



Já as peças decapadas mecanicamente mostradas na Figura 6.4, apresentaram grau de aderência de GR 4 (ver Quadro 5.1 na página 34).

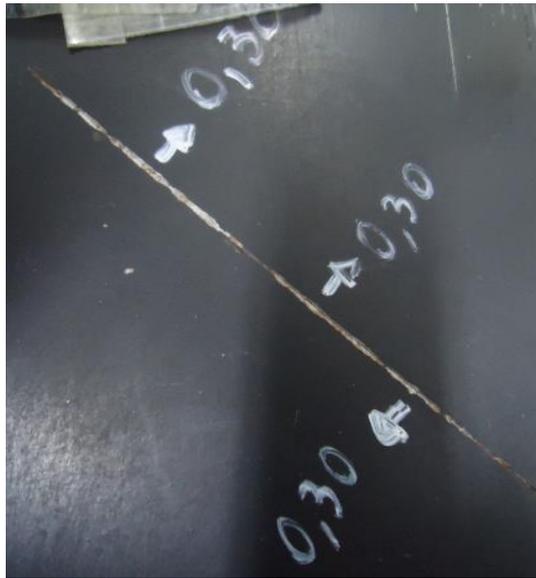
Figura 6.4 – Teste aderência de tinta da amostra decapada mecanicamente



No teste de migração de corrosão, após a remoção da câmara de *Salt spray*, as peças foram limpas e posteriormente quantificadas as migrações com um paquímetro e comparados com limite preconizado pela Norma (máximo de 1mm).

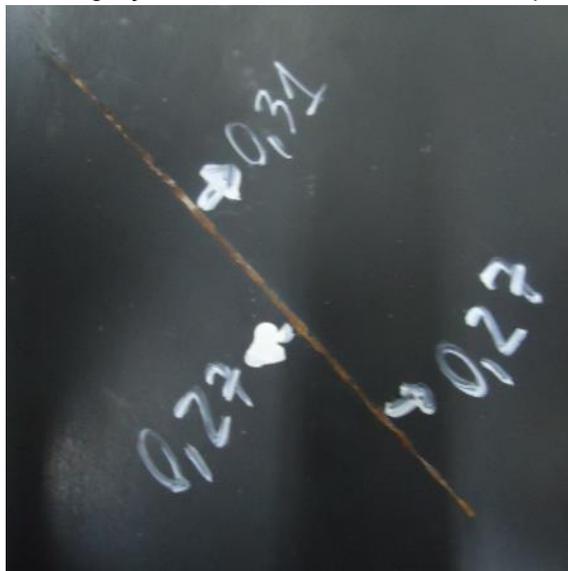
Nas peças decapadas quimicamente observou-se pontos máximos de migração de 0,3 mm, conforme mostra a Figura 6.5.

Figura 6.5 – Teste de migração de corrosão da amostra decapada quimicamente



Nas peças decapadas mecanicamente observou-se pontos máximos de migração de 0,27 mm e 0,31 mm, conforme apresenta a Figura 6.6.

Figura 6.6 – Teste de migração de corrosão da amostra decapada mecanicamente



Os resultados obtidos foram comparados com a Norma seguida pelo cliente A e obteve-se os seguintes pareceres nos testes:

- Corrosão superficial;

A aprovação no teste de corrosão superficial exige que não evidencie nenhum ponto de corrosão na superfície analisada .

✓ Decapagem mecânica - Desaprovado, foram observados pontos de corrosão causados devido aos picos não serem totalmente cobertos.

✓ Decapagem química – Aprovado, não foram observados ponto de corrosão.

– Aderência de tinta;

A aprovação no teste de aderência de tinta exige que o grau de aderência seja de no máximo grau 1, ou seja, comparação visual até no maximo GR 1 do Quadro 5.1 (página 34).

✓ Decapagem mecânica - Desaprovado, obteve-se um grau superior a GR 4 do Quadro 5.1 (página 34)..

✓ Decapagem química – Aprovado, obteve-se um grau superior a GR 0 do Quadro 5.1 (página 34)..

– Migração de corrosão

A aprovação no teste de migração de corrosão exige que a medida da migração seja inferior a 1 mm.

✓ Decapagem mecânica - Aprovado, não foram quantificadas migrações superiores a exigência da norma.

✓ Decapagem química – Aprovado, não foram quantificadas migrações superiores a exigência da norma.

7. CONCLUSÕES

Na empresa B foram cortadas corpos de prova de aço carbono, os quais foram submetidos a diferentes métodos de decapagem, sendo esses químico e mecânico.

Observou-se um maior perfil de rugosidade para peças decapadas mecanicamente, o que causa maior desgaste nos equipamentos utilizados posteriormente, mostrando que a decapagem química é a melhor rota neste requisito.

Nos ensaios em câmara de *Salt spray* ocorreu a efetiva aceleração da corrosão, fato que pode ser observado devido à corrosão superficial vista nas amostras decapadas mecanicamente.

Nas amostras decapadas mecanicamente foi inviável a aplicação de camadas baixa de tinta, devido às reprovações nos ensaios de corrosão superficial e aderência de tinta.

Para utilização da rota mecânica seria necessária a utilização de uma camada maior de tinta para que ocorra o total cobrimento dos picos, aumentando, assim, o consumo de tinta e conseqüentemente os gastos com essa etapa.

Já no método de decapagem química, foi possível a aplicação de uma camada baixa de tinta, cujas amostras foram aprovadas em todos os testes, mostrando que esse método é mais viável economicamente na etapa de pintura.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS : Standard Terminology of Adhesives. Philadelphia, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM B 117: Standard Test Method of Salt spray (fog) testing, 1995.

ARAUJO, L.A. “ **Manual de Siderurgia**” 2ª edição –**Transformação Vol. 02 – ARTE & CIÊNCIA EDITORA** - Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-8754: Corpos de prova revestidos e expostos a ambientes corrosivos, Rio de Janeiro, 1985.

_____NBR 11003: Tintas – Determinação da aderência, Rio de Janeiro, 2009.

BRETT, A.M.O; BRETT, C. “**Electroquímica, princípios, métodos e aplicações**”, Coimbra, Portugal,: Editora Almedina, 1996.

ETT, R.H; MIRANDA, M.G. “**Curso Básico de Galvanoplastia**” – Vol. 01 – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE, 1990.

GENTIL, V. “**Corrosão**” – 5ª edição , Editora Guanabara - Rio de Janeiro, 2007.

GINZBURG, V.B. “**Steel-Rolling Technology**” : Theory and Practice. New York: Marcel Dekker, 1989.

GNECCO, C; MARIANO, R; FERNANDES, F. “**Tratamento de superfície e pintura**” - INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - Rio de Janeiro, 2003.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **“Siderurgia no Brasil”**, 2009. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/siderurgia-no-brasil-desenvolvimento.asp>>. Acesso em: 25 out. 2013.

MONTEMEZZO, E.R. **“Fosfatização”**. Apostila do curso de extensão da Universidade de Caxias do Sul - Caxias do Sul, 2003.

REIS, F.M.; BARITS, R. **“A Fosfatização”**. São Paulo: Assahi Gráfica e Editora Ltda, 2004.

ROY, P. K; DEBNATH, N. C. **“Study of the structure and composition of phosphate coatings on mild steel surface as a function of process parameters and design of the phosphating chemicals”** , JOCCA. USA, 1993.

SOARES, L.P; JACCOMO, D.F; SAMPAIO, E.M; VASCONCELLOS, A.B. **“Avaliação comparativa, por meio de rugosimetria tridimensional, de diferentes tratamentos superficiais para cimentação adesiva de compósitos”**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu - PR, 2006.

TELLES, P.C.S. **“Materiais para equipamentos de processo”**. Rio de Janeiro: Interciência LTDA, 1976.